



①⑨ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 32 629 A 1**

⑳ Aktenzeichen: 198 32 629.7  
㉑ Anmeldetag: 21. 7. 1998  
㉒ Offenlegungstag: 3. 2. 2000

㉓ Int. Cl. 7:  
**C 09 J 175/04**  
C 09 J 175/02  
C 09 J 11/06  
C 09 J 5/06  
B 60 R 13/00  
C 09 J 163/00

**DE 198 32 629 A 1**

㉔ **Anmelder:**

DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE;  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE;  
Henkel Teroson GmbH, 69123 Heidelberg, DE

㉕ **Erfinder:**

Flegel, Heinrich, Dr., 71134 Aidlingen, DE;  
Kurzmann, Peter, Dr., 71116 Gärtringen, DE; Becher,  
Peter, Dipl.-Ing., 71120 Grafenau, DE; Herrmann,  
Klaus, Dr., 75242 Neuhausen, DE; Bauer, Monika,  
Prof. Dr., 15754 Senzig, DE; Schneider, Jürgen, Dr.,  
14513 Teltow, DE; Bauer, Jörg, Dr., 15754 Senzig,  
DE; Krüger, Hartmut, Dr., 12489 Berlin, DE;  
Neumann-Rodekirch, Jens, Dr. Dipl.-Chem., 12169  
Berlin, DE; Hirthammer, Michael, Dr., 69251  
Gaiberg, DE

㉖ **Entgegenhaltungen:**

US 45 99 273

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉗ **Klebstoffsystem zur Bildung reversibler Klebeverbindungen**

㉘ Die vorliegende Erfindung betrifft ein Klebstoffsystem zur Bildung reversibler Klebeverbindungen mit mindestens einer polymeren Klebstoffkomponente auf der Basis von Polyurethanen und/oder Polyharnstoffen und/oder Epoxidharzen und mindestens einer Zusatzkomponente. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, daß die mindestens eine Zusatzkomponente mindestens eine funktionelle Gruppe aufweist, welche durch Energieeintrag aktivierbar ist, derart, daß eine chemische Reaktion mit der Klebstoffkomponente unter zumindest teilweisem Abbau der Klebstoffkomponente erfolgt.  
Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum reversiblen Verkleben von Gegenständen und gezielten Lösen der Klebeverbindungen zwischen diesen Gegenständen, unter Verwendung eines erfindungsgemäßen Klebstoffsystems.

**DE 198 32 629 A 1**

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Klebstoffsystem zur Bildung reversibler Klebeverbindungen mit mindestens einer polymeren Klebstoffkomponente auf der Basis von Polyurethanen und/oder Polyharnstoffen und/oder Epoxidharzen und mindestens einer Zusatzkomponente. Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum reversiblen Verkleben von Gegenständen und gezielten Lösen der erhaltenen Klebeverbindung.

Auf den verschiedensten technischen Gebieten werden heute Gegenstände miteinander verklebt. Insbesondere werden bisher übliche Schweißverbindungen durch Verklebungen ersetzt. Dazu werden hochfeste, widerstandsfähige Klebeverbindungen benötigt. Dies gilt vor allem auch bei der Herstellung von Kraftfahrzeugen. Bei dieser Bauweise ist vor Nachteil, daß für eine Reparatur oder für das Recycling die einzelnen verklebten Bauteile der Kraftfahrzeuge nur schwer, zeitlich aufwendig und gewaltsam, z. Bsp. mittels Hammer und Meißel, Sägen oder Schweißen, wieder getrennt werden können.

Gattungsgemäße Klebstoffsysteme sind z. Bsp. aus der US 45 99 273 bekannt. Diese Druckschrift betrifft oberflächenaktive Stoffe, deren oberflächenaktive Wirkung durch Zusatzkomponenten in Form von photolabilen Schutzgruppen blockiert ist. Durch die Einwirkung von Strahlung werden die Schutzgruppen entfernt, und die oberflächenaktive Wirkung wird wieder hergestellt. Bei derartigen oberflächenaktiven Stoffen kann es sich auch um reversibel aufbringbare Beschichtungen handeln. Hochfeste Klebeverbindungen sind damit aber nicht realisierbar.

Aus der DE 92 16 278 U1 sind Haftklebstoffe bekannt, mit denen Bauteile von Kraftfahrzeugen miteinander reversibel verbunden werden können. Auch damit sind keine hochfesten Klebeverbindungen realisierbar.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, Klebstoffsysteme der oben genannten Art bereitzustellen, mit welchen hochfeste Klebeverbindungen herstellbar sind, welche auf einfache Weise eine gezielte mechanische Trennung der miteinander verklebten Gegenstände ermöglichen.

Die Lösung besteht darin, daß die mindestens eine Zusatzkomponente mindestens eine funktionelle Gruppe aufweist, welche durch Energieeintrag aktivierbar ist, derart, daß eine chemische Reaktion mit der Klebstoffkomponente unter zumindest teilweisem Abbau der Klebstoffkomponente erfolgt.

Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich durch folgende Verfahrensschritte aus:

- Herstellen einer Klebeverbindung unter Verwendung eines erfindungsgemäßen Klebstoffsystems,
- Desaktivieren der Klebeverbindung durch Energieeintrag,
- Trennen der Gegenstände voneinander.

Das erfindungsgemäße Klebstoffsystem bzw. das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht also die Herstellung hochfester Klebeverbindungen mittels grundsätzlich bekannter Hochleistungsklebstoffe auf der Basis von Polyurethanen, Polyharnstoffen bzw. Epoxidharzen, welche durch Energiezufuhr gezielt geschwächt und somit wieder gelöst werden können. Dabei werden die Molmasse und/oder die Vernetzungsdichte des Klebstoff-Basispolymers, also der Klebstoffkomponente, stark verändert. Dies führt zum Verlust der mechanischen Festigkeit des Klebstoffs. Die miteinander verklebten Gegenstände können somit jederzeit leicht auf einfache Weise mechanisch voneinander getrennt werden. Dies bedeutet eine erhebliche Zeit- und Kostenerspar-

nis.

Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen. Die Zusatzkomponente kann dem erfindungsgemäßen Klebstoffsystem nach Art eines Additivs einfach beigemischt sein.

Die Zusatzkomponente kann durch Eintrag von Wärmeenergie, z. Bsp. Wärmeleitung, Konvektion bzw. IR-Strahlung, oder durch Eintrag von Strahlungsenergie geeigneter Wellenlänge, insbesondere Mikrowellen, aktivierbar sein.

Es können auch Zusatzkomponenten verwendet werden, welche mit der Klebstoffkomponente ohne weitere Aktivierung spontan reagieren. In diesem Fall sollten die Zusatzkomponenten blockiert, d. h. in ihrer Reaktivität herabgesetzt sein. Dies kann durch Anbindung von Schutzgruppen, durch Verkapselung bzw. Mikroverkapselung oder durch Komplexierung mit einem anorganischen Komplexbildner realisiert werden. Die Blockierung ist dann vorzugsweise ebenfalls durch Eintrag von Wärmeenergie, z. Bsp. Wärmeleitung bzw. Konvektion und/oder durch Eintrag von Strahlungsenergie, insbesondere Mikrowellen bzw. IR-Strahlung, aktivierbar.

Geeignete Zusatzkomponenten sind z. Bsp. organische Amine oder organische Säuren. Organische Basen bewirken eine basenkatalysierte Spaltung des Epoxid-Rückgrats bzw. der Urethan- bzw. Harnstoffbindungen im Polymerrückgrat der entsprechenden Polymere. Das Epoxidrückgrat kann auch durch organische Säuren gespalten werden.

Die organischen Amine und Säuren werden in ihrer Reaktivität blockiert, indem sie mit Schutzgruppen versehen oder in Kapseln oder Mikroapseln, insbesondere aus Aminoharz eingeschlossen werden. Amine können auch in einem Metallhalogenidkomplex komplexiert werden, vorzugsweise mit Lithiumbromid oder Natriumchlorid. Diese Methoden zur Deaktivierung sind z. Bsp. aus der organischen Synthesechemie oder bei Depotwirkstoffen prinzipiell bekannt.

Eine weitere bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß die Klebstoffkomponente chemisch modifiziert ist. Die chemische Modifizierung besteht darin, daß eine oder mehrere Strukturkomponenten chemisch an die Klebstoffkomponente gebunden, vorzugsweise einpolymerisiert sind. Die Strukturkomponenten sind so gewählt, daß sie mit der Zusatzkomponente reagieren, so daß sie abgebaut werden. Dadurch wird auch die Klebstoffkomponente geschwächt bzw. völlig zerstört.

Bevorzugte Strukturkomponenten sind Triazinderivate. Werden Triazine in die Klebstoffkomponente einpolymerisiert, entstehen Cyanurat-Reste im Polymerrückgrat. Der Triazinring bewirkt bei einer Reaktion mit einem Amin die Zersetzung der Cyanurat-Reste über eine Aminolyse. Damit zerfällt auch die Klebstoffkomponente.

Die erfindungsgemäßen Klebesysteme können zur Verklebung von Gegenständen aus Metall, Kunststoffen, Glas oder Textilien, jeweils für sich oder untereinander, verwendet werden. Sie sind besonders geeignet zur Herstellung von Serienklebstoffen, die insbesondere im Automobilbau Anwendung finden.

Im folgenden wird die vorliegende Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

#### I. Beispiel 1 (Vergleichsbeispiel)

Es wurden S2-Prüfstäbe (DIN 53455) mit den Abmessungen 140 cm × 10 cm × 3 cm hergestellt. Sie wurden aus einem feuchthärtenden PUR-Klebstoff auf der Basis von Diphenylmethandiisocyanat und Polyetherpolyol gegossen und 10 Tage gehärtet. Die Zugfestigkeit wurde bei 23°C und 50% rel. Feuchte geprüft. Die Zugfestigkeit betrug 8 MPa.

## II. Beispiel 2

Es wurde wie unter I. verfahren, wobei dem Polyurethan-  
klebstoff vor dem Gießen 3 Ma-% eines Lithiumbromid/  
Triaminoethylamin-Komplexes zugefügt wurden. Die Zug-  
festigkeit der so gefertigten Prüfstäbe betrug 8 MPa.

## III. Beispiel 3

Es wurde wie unter I. verfahren, wobei dem Polyurethan-  
klebstoff vor dem Gießen 4 Ma-% Aminoharz-verkapseltes  
Octylamin zugefügt wurden. Die Zugfestigkeit der so gefe-  
tigten Prüfstäbe betrug 7 MPa.

## IV. Beispiel 4

Es wurde wie unter I. verfahren, wobei dem Polyurethan-  
klebstoff vor dem Gießen 3 Ma-% eines Natriumchlorid/  
4,4'-Diaminodiphenylmethan-Komplexes zugefügt wur-  
den. Die Zugfestigkeit der so gefertigten Prüfstäbe betrug  
7 MPa.

## V. Deaktivierung der Klebeverbindung

Die gemäß den Beispielen 1, 3 und 4 gefertigten Prüf-  
stäbe wurden 30 min. auf 175°C erhitzt. Danach wiesen sie  
folgende Zugfestigkeiten auf:

|                                  |          |
|----------------------------------|----------|
| Beispiel 1 (Vergleichsbeispiel): | 0,52 MPa |
| Beispiel 3:                      | 1,02 MPa |
| Beispiel 4:                      | 0,42 MPa |

## VI. Beispiel 5 (Vergleichsbeispiel)

Es wurde wie unter I. verfahren, wobei ein Prepolymer  
zum Einsatz kam, in dem 22 Ma-% des Polyetherpolyols  
durch ein mit Diphenylmethandiisocyanat umgesetztes  
2,4,6-Tris-( $\omega$ -hydroxy-polyalkoxy)-1,3,5-triazin ersetzt  
wurden. Die Zugfestigkeit des reinen gehärteten Polymers  
(nicht als Klebstoff formuliert) betrug 1,1 MPa.

## VII. Beispiel 6

Es wurde wie unter VI. verfahren, wobei dem Polyuret-  
hanklebstoff vor dem Gießen 4 Ma-% eines Natriumchlorid/  
4,4'-Diaminodiphenylmethan-Komplexes zugefügt wur-  
den. Die Zugfestigkeit der so gefertigten Prüfstäbe betrug  
1,2 MPa.

## VIII. Deaktivierung der Klebeverbindung

Die gemäß den Beispielen 5 und 6 gefertigten Prüfstäbe  
wurden 30 min. auf 175°C erhitzt. Danach wiesen sie fol-  
gende Zugfestigkeiten auf:

|                                  |         |
|----------------------------------|---------|
| Beispiel 5 (Vergleichsbeispiel): | 1,2 MPa |
| Beispiel 6:                      | 0,2 MPa |

## IX. Beispiel 7

2 g Tris-(4-aminophenoxy)-1,3,5-triazin, gelöst in 10 g  
Anilin, wurden bei 90°C mit 44 g Bisphenol-A-diglycidet-  
her homogen vermischt und zur Herstellung von Prüfstrei-  
fen in Formen wie unter I. gegossen. Die Härtung erfolgte  
über 18 Stunden bei 90°C. Mittels dynamisch-mechanischer  
Analyse wurde die Glasübergangstemperatur des erhaltenen

Materials mit  $T_g = 99^\circ\text{C}$  bestimmt. Beim Erhitzen auf  
120°C bildete sich eine klebrige Masse ohne mechanische  
Festigkeit.

## X. Beispiel 8

13,5 g des Reaktionsproduktes aus 150 g Bisphenol-A-di-  
glycidether mit 15 g Tris-(4-aminophenoxy)-1,3,5-triazin  
wurden mit 2,7 g Trimethyl-1,6-diaminohexan unter Zusatz  
von 3 g N-tert-Butyloxycarbonyl-aminooctan in Formen  
analog IX. gegeben und bei 40°C über 20 Stunden gehärtet.  
Die Untersuchung mittels dynamisch-mechanischer Ana-  
lyse ergab eine Glasübergangstemperatur von  $T_g = 80^\circ\text{C}$ .  
Nach Erwärmen auf eine Temperatur von 200°C über min-  
destens 30 min erfolgte eine schnelle Erhöhung der Glas-  
übergangstemperatur. Das Material versprödete so stark,  
daß es bereits durch die geringen Beanspruchungen im  
DMA-Meßgerät brach.

## Patentansprüche

1. Klebstoffsystem zur Bildung reversibler Klebever-  
bindungen mit mindestens einer polymeren Klebstoff-  
komponente auf der Basis von Polyurethanen und/oder  
Polyharnstoffen und/oder Epoxidharzen und minde-  
stens einer Zusatzkomponente, **dadurch gekennzeichnet**,  
daß die mindestens eine Zusatzkomponente min-  
destens eine funktionelle Gruppe aufweist, welche  
durch Energieeintrag aktivierbar ist, derart, daß eine  
chemische Reaktion mit der Klebstoffkomponente un-  
ter zumindest teilweisem Abbau der Klebstoffkompo-  
nente erfolgt.
2. Klebstoffsystem nach Anspruch 1, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß die Zusatzkomponente der Klebstoff-  
komponente beigemischt ist.
3. Klebstoffsystem nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Zusatz-  
komponente durch Wärmeenergie und/oder durch  
Strahlungsenergie aktivierbar ist.
4. Klebstoffsystem nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Zusatz-  
komponente durch mindestens eine Schutzgruppe und/  
oder durch Verkapselung und/oder durch Einschluß in  
anorganische Strukturen in ihrer Reaktivität blockiert  
ist und die Blockierung durch Energieeintrag aufheb-  
bar ist.
5. Klebstoffsystem nach Anspruch 4, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß die Blockierung durch Wärmeenergie  
und/oder durch Strahlungsenergie aufhebbar ist.
6. Klebstoffsystem nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es als Zusatz-  
komponente ein oder mehrere organische Amine auf-  
weist.
7. Klebstoffsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
dadurch gekennzeichnet, daß es eine Klebstoffkompo-  
nente auf der Basis von Epoxidharzen und als Zusatz-  
komponente ein oder mehrere organische Säuren auf-  
weist.
8. Klebstoffsystem nach Anspruch 6 oder 7, dadurch  
gekennzeichnet, daß das Amin bzw. die Säure in Kap-  
seln oder Mikrokapseln, vorzugsweise aus Aminoharz,  
eingeschlossen sind.
9. Klebstoffsystem nach Anspruch 6 oder 7, dadurch  
gekennzeichnet, daß das Amin in einen Metallhaloge-  
nid-Komplex, insbesondere mit Lithiumbromid und/  
oder Natriumchlorid, eingebunden ist.
10. Klebstoffsystem nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Kleb-

stoffkomponente mittels mindestens einer chemisch an die Klebstoffkomponente gebundenen Strukturkomponente modifiziert ist, wobei die Strukturkomponente so ausgewählt ist, daß durch die Aktivierung der Zusatzkomponente eine chemische Reaktion mit der Strukturkomponente unter zumindest teilweise Abbau der Klebstoffkomponente erfolgt.

11. Klebstoffsystem nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die mindestens eine Strukturkomponente in die Klebstoffkomponente einpolymerisiert ist.

12. Klebstoffsystem nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß die mindestens eine Strukturkomponente mindestens ein Triazinderivat ist.

13. Verfahren zum reversiblen Verkleben von Gegenständen und gezielten Lösen der Klebeverbindungen zwischen diesen Gegenständen, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:

- Herstellen einer Klebeverbindung unter Verwendung eines Klebstoffsystems nach einem der Ansprüche 1 bis 13,
- Desaktivieren der Klebeverbindung durch Energieeintrag,
- Trennen der Gegenstände voneinander.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Energieeintrag durch Wärmezufuhr, insbesondere mittels Wärmeleitung bzw. Konvektion und/oder elektromagnetische Strahlung, insbesondere Infrarotstrahlung bzw. Mikrowellen, erfolgt.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß Gegenstände aus Metall, Kunststoffen, Glas oder Textilien jeweils für sich oder untereinander verklebt werden.

16. Verwendung des Klebstoffsystems nach einem der Ansprüche 1 bis 12 bzw. des Verfahrens nach einem der Ansprüche 13 bis 15 zur Verklebung von Bauteilkomponenten in Kraftfahrzeugen.

17. Verwendung des Klebstoffsystems nach einem der Ansprüche 1 bis 12 zur Herstellung von Serienklebstoffen.

TRANSLATION :

(19) Federal Republic of Germany – German Patent Office

(12) Offenlegungsschrift

**EARLY DISCLOSURE**  
[Unexamined Patent Application]

(10) Document No.: DE 198 32 629 A1

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>:  
C 09 J 175/04  
C 09 J 175/02  
C 09 J 11/06  
C 09 J 5/06  
B 60 R 13/00  
C 09 J 163/00

(21) File No.: 198 32 629.7

(22) Application Date: July 21, 1998

(43) Early Disclosure Date: February 3, 2000

---

(71) Applicant(s): DaimlerChrysler AG  
70567 Stuttgart, DE

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V.  
69123 Heidelberg, DE

Henkel Teroson GmbH  
69123 Heidelberg, DE

(72) Inventor(s): Flegel, Heinrich, Dr.  
71134 Aidlingen, DE;

Kurzmann, Peter, Dr.  
71116 Gärtringen, DE;

Becher, Peter, Graduate Engineer  
71120 Grafenau, DE;

Herrmann, Klaus, Dr.  
75242 Neuhausen, DE;

Bauer, Monika, Prof. Dr.  
15754 Senzig, DE;

Schneider, Jürgen, Dr.  
14513 Teltow, DE;

Bauer, Jörg, Dr.  
15654 Senzig, DE;

Krüger, Hartmut, Dr.  
12489 Berlin, DE;

Neumann-Rodekirch, Jens, Dr., Graduate Chemist  
12169 Berlin, DE;

Hirhammer, Michael, Dr.  
69251 Gaiberg, DE.

(56) Prior-Art Citations: US 4,599,273

---

The following information is derived from documents submitted by the applicant.

Petition for examination in accordance with § 44 of the Patent Law has been filed.

(54) Title of the Invention:

ADHESIVE SYSTEM FOR FORMING REVERSIBLE ADHESIVE BONDS

(57) Abstract:

The present invention concerns an adhesive system for forming reversible adhesive bonds with at least one polymeric adhesive component based on polyurethanes and/or polyureas and/or epoxy resins and at least one added component. The invention provides that the at least one added component has at least one functional group, which can be activated in such a way by the addition of energy that a chemical reaction takes place with the adhesive component, resulting in at least partial decomposition of the adhesive component.

The present invention also concerns a method for the reversible bonding of objects and the systematic dissolution of the adhesive bond between these objects with the use of an adhesive

system of the invention.

Federal Printing Office 12.99 902 065/93/1

## SPECIFICATION

The present invention concerns an adhesive system for forming reversible adhesive bonds with at least one polymeric adhesive component based on polyurethanes and/or polyureas and/or epoxy resins and at least one added component. The present invention also concerns a method for the reversible bonding of objects and the systematic dissolution of the resulting adhesive bond.

In a very wide variety of technical fields, objects are now being bonded to each other with adhesives. In particular, previously customary weld joints are being replaced by adhesive bonds. This requires, stable, high-strength adhesive bonds. This is especially true in the manufacturing of motor vehicles. A disadvantage of this type of construction is that, to carry out repair work and recycling, the individual adhesively bonded parts of the motor vehicles can be separated again only by difficult, time-consuming methods that require force, e.g., with hammer and chisel or by sawing or welding.

Adhesive systems of this general type are described, for example, in US 4,599,273. This document concerns surfactants, whose surfactant activity is blocked by added components in the form of photolabile protective groups. On exposure to actinic radiation, the protective groups are removed, and the surfactant activity is restored. Surfactants of this type are useful for the reversible application of coatings. However, high-strength adhesive bonds cannot be realized in this way.

DE 92 16 278 U1 describes pressure-sensitive adhesives with which motor vehicle parts can be reversibly bonded to each other, but high-strength adhesive bonds cannot be realized with these adhesives, either.

Therefore, the objective of the present invention is to develop adhesive systems of the aforementioned type, with which high-strength adhesive bonds can be produced, which allow systematic mechanical separation of the bonded objects by simple means.

This objective is achieved by virtue of the fact that the at least one added component has at least one functional group, which can be activated in such a way by the addition of energy that a chemical reaction takes place with the adhesive component, resulting in at least partial decomposition of the adhesive component.

The method of the invention is characterized by the following steps:

- production of the adhesive bond with the use of an adhesive system of the invention,
- deactivation of the adhesive bond by energy input, and
- separation of the objects from each other.

The adhesive system of the invention and the method of the invention thus make it possible to produce high-strength adhesive bonds by means of basically well-known high-performance adhesives based on polyurethanes, polyureas, and/or epoxy resins, which can be systematically weakened by the addition of energy and thereby dissolved again. In the process, the molecular weight and/or the crosslinking density of the adhesive base polymer, i.e., the adhesive component, changes considerably. This results in reduced mechanical strength of the adhesive. The adhesively bonded objects can thus be mechanically separated from each other simply and easily. This means considerable savings of time and expense.

Advantageous refinements are specified in the dependent claims. The added component



can simply be mixed into the adhesive system of the invention as an additive.

The added component can be activated by the addition of thermal energy, e.g., by heat conduction, convection, or IR radiation, or by supplying radiant energy of suitable wavelength, especially microwaves.

It is also possible to use added components that react spontaneously with the adhesive component without further activation. In this case, the added components must be blocked, i.e., their reactivity must be reduced. This can be realized by binding protective groups, by encapsulation or microencapsulation, or by complexing with an inorganic complexing agent. Preferably, the blocking is then likewise activated by the addition of thermal energy, e.g., by heat conduction or convection, and/or by supplying radiant energy, especially microwaves or IR radiation.

Examples of suitable added components are organic amines or organic acids. Organic bases cause base-catalyzed cleavage of the epoxide backbone or of the urethane or urea bonds in the polymer backbone of the corresponding polymers. The epoxide backbone can also be cleaved by organic acids.

The reactivity of the organic amines and acids is blocked by providing them with protective groups or by enclosing them in capsules or microcapsules, which are composed especially of amino resin. Amines may also be complexed in a metal halide complex, preferably with lithium bromide or sodium chloride. These methods of deactivation are basically well known from organic synthesis chemistry or from pharmacology in connection with extended-release active ingredient dosage forms.

Another preferred embodiment of the present invention consists in chemical modification of the adhesive component. The chemical modification consists in chemically bonding one or

more structural components to the adhesive component, preferably by polymerizing them in. The structural components are selected in such a way that they react with the added component, so that they are decomposed. In this way, the adhesive component is also weakened or completely destroyed.

Preferred structural components are triazine derivatives. If triazines are polymerized into the adhesive component, cyanurate groups form in the polymer backbone. In a reaction with an amine, the triazine ring causes the decomposition of the cyanurate groups by aminolysis. As a result, the adhesive component also decomposes.

The adhesive systems of the invention can be used to bond objects made of metal, plastics, glass, or textiles to objects made of the same material or of different materials within this group. They are especially suitable for producing industrial adhesives, which are used especially in automobile manufacturing.

The present invention is explained in greater detail below with reference to specific embodiments.

#### I. Example 1 (Comparison Example)

S2 test bars (DIN 53455) were produced with dimensions of 140 cm × 10 cm × 3 cm. They were cast from a moisture-curing PUR adhesive based on diphenylmethane diisocyanate and polyether polyol and cured for 10 days. The tensile strength was tested at 23°C and 50% relative humidity. The tensile strength was 8 MPa.

#### II. Example 2

The procedure described in I. was followed, but 3 wt.% of a lithium bromide/-

triaminoethylamine complex was added to the polyurethane adhesive before it was cast. The tensile strength of the test bars produced in this way was 8 MPa.

### III. Example 3

The procedure described in I. was followed, but 4 wt.% of octylamine encapsulated in amino resin was added to the polyurethane adhesive before it was cast. The tensile strength of the test bars produced in this way was 7 MPa.

### IV. Example 4

The procedure described in I. was followed, but 3 wt.% of a sodium chloride/4,4'-diaminodiphenylmethane complex was added to the polyurethane adhesive before it was cast. The tensile strength of the test bars produced in this way was 7 MPa.

### V. Deactivation of the Adhesive Bond

The test bars produced in accordance with Examples 1, 3, and 4 were heated for 30 minutes at 175°C. They were then found to have the following tensile strengths:

|                                 |          |
|---------------------------------|----------|
| Example 1 (Comparison Example): | 0.52 MPa |
| Example 3:                      | 1.02 MPa |
| Example 4:                      | 0.42 MPa |

### VI. Example 5 (Comparison Example):

The procedure described in I. was followed, but a prepolymer was used, in which 22

wt.% of the polyether polyol was replaced by a 2,4,6-tris( $\omega$ -hydroxypolyalkoxy)-1,3,5-triazine reacted with diphenylmethane diisocyanate. The tensile strength of the pure, cured polymer (not formulated as an adhesive) was 1.1 MPa.

#### VII. Example 6

The procedure described in VI was followed, but 4 wt.% of a sodium chloride/4,4'-diaminodiphenylmethane complex was added to the polyurethane adhesive before it was cast. The tensile strength of the test bars produced in this way was 1.2 MPa.

#### VIII. Deactivation of the Adhesive Bond

The test bars produced in accordance with Examples 5 and 6 were heated for 30 minutes at 175°C. They were then found to have the following tensile strengths:

Example 5 (Comparison Example):                      1.2 MPa

Example 6:    0.2 MPa

#### IX. Example 7

2 g of tris(4-aminophenoxy)-1,3,5-triazine dissolved in 10 g of aniline was homogeneously mixed at 90°C with 44 g of bisphenol A diglycidyl ether and cast in molds to produce test bars, as described in I. The material was cured for 18 hours at 90°C. The glass-transition temperature of the resulting material was determined by dynamic mechanical analysis to be  $T_g = 99^\circ\text{C}$ . Heating to 120°C resulted in the formation of a sticky mass with no mechanical strength.

## X. Example 8

13.5 g of the product of the reaction of 150 g of bisphenol A diglycidyl ether with 15 g of tris(4-aminophenoxy)-1,3,5-triazine was poured into molds with 2.7 g of trimethyl-1,6-diaminohexane with the addition of 3 g of *N-tert*-butyloxycarbonyl aminooctane as in IX and cured for 20 hours at 40°C. A glass-transition temperature of  $T_g = 80^\circ\text{C}$  was determined by dynamic mechanical analysis. After heating to a temperature of 200°C over a period of at least 30 min, a rapid increase in the glass-transition temperature occurred. The material became so brittle that it even broke under the low stresses in the dynamic mechanical analyzer.

## CLAIMS

1. Adhesive system for forming reversible adhesive bonds with at least one polymeric adhesive component based on polyurethanes and/or polyureas and/or epoxy resins and at least one added component, characterized by the fact that the at least one added component has at least one functional group, which can be activated in such a way by the addition of energy that a chemical reaction takes place with the adhesive component, resulting in at least partial decomposition of the adhesive component.
2. Adhesive system in accordance with Claim 1, characterized by the fact that the added component is mixed with the adhesive component.
3. Adhesive system in accordance with either of the preceding claims, characterized by the fact that the added component can be activated by thermal energy and/or by radiant energy.
4. Adhesive system in accordance with any of the preceding claims, characterized by the fact that the reactivity of the added component is blocked by at least one protective group and/or by encapsulation and/or by incorporation in inorganic structures, and the blocking is removed by supplying energy.
5. Adhesive system in accordance with Claim 4, characterized by the fact that the blocking is removed by thermal energy and/or by radiant energy.
6. Adhesive system in accordance with any of the preceding claims, characterized by the fact that it contains one or more organic amines as the added components.
7. Adhesive system in accordance with one or more of Claims 1 to 5, characterized by the fact that it contains an adhesive component based on epoxy resins and one or more organic acids as the added components.
8. Adhesive system in accordance with Claim 6 or Claim 7, characterized by the fact that

the amine or the acid is enclosed in capsules or microcapsules, which are preferably composed of amino resin.

9. Adhesive system in accordance with Claim 6 or Claim 7, characterized by the fact that the amine is bound in a metal halide complex, especially with lithium bromide and/or sodium chloride.

10. Adhesive system in accordance with any of the preceding claims, characterized by the fact that the adhesive component is modified by at least one structural component chemically bonded to the adhesive component, such that the structural component is selected in such a way that the activation of the added component results in a chemical reaction with the structural component, which is accompanied by at least partial decomposition of the adhesive component.

11. Adhesive system in accordance with Claim 10, characterized by the fact that the one or more structural components are polymerized into the adhesive component.

12. Adhesive system in accordance with Claim 10 or Claim 11, characterized by the fact that the one or more structural components comprise at least one triazine derivative.

13. Method for the reversible adhesive bonding of objects and the systematic dissolution of the adhesive bond between these objects, characterized by the following steps:

-- production of the adhesive bond with the use of an adhesive system in accordance with any of Claims 1 to 13 [*sic; should be "Claims 1 to 12" -- Tr. Ed.*],

-- deactivation of the adhesive bond by energy input, and

-- separation of the objects from each other.

14. Method in accordance with Claim 13, characterized by the fact that the input of energy is accomplished by supplying heat, especially by means of heat conduction or convection and/or electromagnetic radiation, especially infrared radiation or microwaves.

15. Method in accordance with Claim 13 or Claim 14, characterized by the fact that objects made of metal, plastics, glass, or textiles are adhesively bonded to objects made of the same material or of different materials within this group.

16. Use of the adhesive system in accordance with any of Claims 1 to 12 and of the method in accordance with any of Claims 13 to 15 for the adhesive bonding of motor vehicle component parts.

17. Use of the adhesive system in accordance with any of Claims 1 to 12 for producing production adhesives.